心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 9, 1608–1616
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.01608

工作记忆表征对视觉注意的影响：基于非目标模板的视角

李杨卓 杨旭成 高 虹 高湘萍
(上海师范大学教育学院心理系，上海 200234)

摘 要 储存在工作记忆中的视觉表征会影响注意选择过程。其中，与目标有关的工作记忆表征(靶子模板)对视觉注意起到自上而下的引导作用，而与目标无关的工作记忆表征(非目标模板)亦会对注意分配产生影响。本文通过系统分析非目标工作记忆表征影响视觉搜索过程的相关研究，发现非目标模板在视觉搜索任务中既存在自动化的注意捕获，也会形成主动抑制以提高目标搜索绩效。进一步地，对非目标模板的注意捕获或抑制受实验范式、任务难度、刺激材料特征以及认知控制水平等因素的影响。未来研究应该在不断深入细化变量操纵、完善变量控制的同时，进一步扩展应用领域的研究。

关键词 选择性注意；工作记忆表征；非目标模板；注意捕获；注意抑制
分类号 B842

1 引言

选择性注意对个体在日常生活中持续将注意集中于当前目标并有效排除无关干扰刺激、提高工作效率具有十分重要的意义。Yantis (2000)在分析了大量视觉选择性注意的研究后指出，选择性注意是自上而下(目标驱动加工)和自下而上(刺激驱动加工)两种加工机制相互制约、相互影响的过程。当我们寻找目标客体时，通常会预先设定并记住该刺激的基本特征(即对目标形成“模板”)，并在随后的视觉搜索过程中不断地将输入的视觉信息与“靶子模板”进行比较和辨认。也就是说，在视觉搜索任务中，靶刺激通常是以“模板”的形式储存在视觉工作记忆当中的(Desimone & Duncan, 1995; Carlisle & Woodman, 2011)。与此同时，视觉情境中无关刺激的知觉特性(如更亮、突然出现、突出的颜色或形状)也会对注意分配产生影响(Theeuwes, 1991)。不过就目前看来，自上而下的注意调控在选择性注意中似乎起着更为重要的作用，可以说几乎所有的视觉搜索过程都存在自上而下注意控制的参与(Desimone & Duncan, 1995; Chelazzi, Duncan, Miller, & Desimone, 1998；张明，张阳，2007)。

近年来，越来越多研究者发现，不仅储存在工作记忆中的“靶子模板”能够引导注意优先偏向目标刺激，事先保持在工作记忆当中的非目标表征亦能影响注意分配，即与任务无关的工作记忆表征也能够产生注意引导效应(Kumar, Soto, & Humphreys, 2009; Soto, Greene, Chaudhary, & Rotshtein, 2011; Soto, Llewelyn, & Silvanto, 2012; 胡艳梅，张明，徐展，李毕琴，2013；胡艳梅，张明，2016；张豹，胡岑楼，黄赛，2016)。但目前为止，非目标工作记忆表征究竟如何引导视觉注意，研究结果还未能取得一致。一些研究发现，注意总是自动化地指向与工作记忆储存内容相同的刺激，不管其是否与搜索目标特征相关(Downing, 2000; Soto, Heinke, Humphreys, & Blanco, 2005; Olivers, Meijer, & Theeuwes, 2006)。相反，基于自上而下注意调控在目标搜索中的重要作用，另一些研究者则更强调任务相关性及认知控制对注意分配的影响，认为如果工作记忆中储存的知觉表征与目标任务无关，个体就没有理由将注意优先分配到与记忆类似的刺激物当中，因此非目标工作记忆表征不会对注意选择产生影响，相反应该产生注意的主动抑制效应，避免认知加工偏向干

收稿日期：2017-08-28
通信作者：高湘萍, E-mail: gaoxp@shnu.edu.cn

扰刺激(Downing & Dodds, 2004; Han & Kim, 2009; Sawaki & Luck, 2011; Sawaki, Geng, & Luck, 2012; Woodman & Luck, 2007)。那么，在视觉搜索过程中，非目标工作记忆表征究竟会怎样影响视觉注意？非目标表征总是会捕获注意，干扰目标搜索吗？或者个体能够基于非目标表征产生注意抑制，从而提高视觉搜索效率？其中的作用机制是什么？鉴于以上疑问，笔者基于最新研究进展，综合行为与电生理指标，对非目标工作记忆表征在视觉搜索任务中的注意引导作用进行系统的回顾和总结。并进一步探讨了影响个体对非目标记忆表征产生注意抑制的重要因素，以期为深入理解工作记忆表征在视觉搜索任务中如何影响注意选择过程提供一个独特的视角。

2　非目标工作记忆表征在视觉搜索任务中的注意引导作用

2.1　非目标工作记忆表征的自动捕获

偏向竞争模型(Bias Competition Model)最早被用于解释注意选择的两种调控机制(自上而下和自下而上)是如何在视觉搜索过程中发挥作用的(Desimone & Duncan, 1995)。Desimone (1998)借助偏向竞争模型说明工作记忆表征对注意的引导作用，指出视野内的各种刺激总是在相互竞争以捕获注意，事先储存在工作记忆中的表征以自上而下的方式增强对早期视觉皮层中与之相同或相似的刺激的选择，自动形成“注意模板(attentional template)”，从而使这些刺激在视觉搜索中获得竞争优势。基于偏向竞争理论，工作记忆中储存的客体表征即便不与目标刺激匹配，注意仍会不可避免地指向它们，这一自动化倾向不受个体主观意志的影响(Chelazzi, Duncan, Miller, & Desimone, 1998; Downing, 2000; Soto et al., 2005)。

Soto 等人在其系列研究中，采用工作记忆–视觉搜索双任务范式(Working Memory-guided visual search task)，对该观点进行了细致的考察(Soto et al., 2005; Soto, Hodsoll, Rotshtein, & Humphreys, 2008; Kumar et al., 2009)。在他们的研究中，被试需要在记忆保持的同时，完成一项视觉搜索任务。视觉搜索序列中的目标与工作记忆表征之间存在 3 种匹配关系：(1)有效匹配——工作记忆表征与视觉搜索目标特征匹配；(2)无效匹配——工作记忆表征与视觉搜索非目标特征匹配；(3)中性条件——视觉搜索中没有任何刺激与工作记忆表征匹配。结果发现，与中性条件相比，有效匹配条件下被试的搜索反应时更快，无效匹配条件下搜索反应时更慢。眼动数据进一步显示，无论在有效匹配还是无效匹配条件下，视觉搜索阶段被试的第一次眼跳均明显受到与工作记忆表征相同刺激的影响(Soto et al., 2005)。这一研究结果表明，无论工作记忆表征是否与当前目标特征一致，注意均会对其产生自动化的偏向，工作记忆表征对视觉注意的引导似乎发生在视觉注意的早期阶段(Soto et al., 2005)。

Kumar 等(2009)采用事件相关电位技术(ERPs)考察了注意是否会自动分配到与工作记忆表征匹配的刺激中。他们同样要求被试在记忆一个视觉刺激的同时完成一项搜索任务(呈现三个分心刺激和 1 个目标)。无效条件下，一个分心刺激会与记忆项目匹配。记忆匹配分心刺激可能与目标同侧视野出现，也可能出现在目标对侧。控制条件下，所有的搜索项目均与记忆项目不同。结果发现，当工作记忆匹配的分心刺激与搜索目标在同侧视觉区域时，相比对侧呈现，目标刺激诱发出更大的 N2pc 波幅。N2pc (后对侧 N2 成分)为刺激出现后 150~225 ms 时间段内，在刺激呈现视野对侧脑区产生的一个负性成分，与注意选择过程密切相关(Hickey, McDonald, & Theeuwes, 2006; Woodman, 2010)。他们认为这是由于目标和同侧工作记忆匹配的干扰刺激同时捕获注意，产生了 N2pc 波幅的叠加，因而导致一个更大的生理对侧 N2pc 成分。但当目标和工作记忆匹配干扰物对侧出现时，诱发的 N2pc 会互相抵消，导致目标刺激表现出更小的生理对侧 N2pc 波。这一结果为非目标工作记忆表征能够自动捕获注意提供了强有力的证据。但是，Kumar 等人的研究仅考察了视觉搜索早期阶段(前 150~200 ms)的注意加工特性，没有对晚期阶段的注意分配过程做进一步分析，因此我们并不清楚当个体察觉到输入的知觉表征并非当前目标任务刺激时，是否会采取一些策略弥补注意资源错误地分配到无关刺激而造成的损失。

2.2　非目标工作记忆表征能够被主动抑制

在 Soto 等人(2005)的研究中，由于目标出现的位置不确定，被试需要依次查找所有呈现的刺激客体，直到发现目标。这种情况下，与事先存储在工作记忆中类似的刺激表征更有可能基于再认

而被优先识别。另外，他们的研究中，几种条件类型(控制、有效匹配、无效匹配)交替出现，当前一个试次中目标出现在与工作记忆匹配的刺激中时，被试很可能对下一个试次中目标类型形成期待，在无效匹配条件下仍然保持对识记过的客体的自动化注意偏向。为此，一些研究者设想，当被试被明确告知目标不会是记忆过的客体时，被试可能策略性地避免注意对记忆匹配刺激的部署。

为验证该假设，Woodman 和 Luck (2007)在研究中同样采用工作记忆–视觉搜索双任务范式，即被试在完成视觉搜索任务的同时完成一项间隔的记忆监测任务。但明确告知被试，保持在工作记忆中的客体特征永远不会与目标特征一致。结果发现，与控制条件(没有任何搜索项目与记忆项目匹配)相比，被试的搜索反应时变快了。这一结果提示，非目标记忆匹配刺激不但没有捕获注意，反而被有效抑制了，促成了视觉搜索成绩提高。Sawaki 和 Luck (2010)提出信号抑制假说(signal suppression hypothesis)解释个体对非目标工作记忆表征的主动抑制效应。该假说认为，注意控制由刺激驱动(stimulus-driven)和目标驱动(goal-driven)两种加工过程共同组成。信号客体(工作记忆表征)能自动化产生一个凸显性信号，优先捕获注意，这与刺激驱动理论一致；但当信号客体作为干扰物出现时，为避免信号刺激对目标任务的干扰，人们会通过自上而下的认知控制，对工作记忆表征产生“拒绝模板” (reject template)，抑制对非目标工作记忆表征的持续注意，完成目标导向的加工，这与目标驱动理论一致。也就是说，被试可以根据任务的要求，将工作记忆表征视为目标模板，也可以将其设置为拒绝模板。然而，有研究者指出，由于 Woodman 和 Luck (2007)在研究中采用了较为复杂的工作记忆–视觉搜索双重任务，这可能导致被试运用在单纯的视觉搜索任务中不会使用的策略，类似于视觉标记负启动策略(Visual Marking and Negative Priming)，通过忽略出现在视野中的旧刺激物，提高搜索新异客体的效率(Watson & Humphreys, 1997; Olivers & Humphreys, 2003)。因此不能有力地证明个体确实能够对工作记忆表征形成“拒绝模板”，应当使用更为简单明确的线索进一步探究注意加工过程是否能够有目的地使用非目标特征。Arita, Carlisle 和 Woodman (2012)率先对“拒绝模板”的有效性进行了验证。他们仅在搜索序列之前呈现线索序列，被试无需对线索刺激进行再认，且不同的线索类型(有效、无效和中性)分别独立出现在一个完整的试次组合中，顺序随机。结果发现，当线索为非目标刺激时，被试的搜索反应时加快。因此，他们相信，个体确实能够基于负性线索形成“拒绝模板”，提高目标搜索效率，即便这种促进作用不如正性线索条件件强。

那么，个体对非目标工作记忆表征的主动抑制究竟发生在注意的哪一阶段？一些研究指出，对非目标工作记忆表征的注意抑制可以发生在捕获之前。例如, Carlisle 和 Woodman (2011)研究发现，对非目标工作记忆表征只在加工后期(300~500 ms 左右)诱发了注意抑制相关的 Pd 成分，没有发现注意捕获相关的 N2pc 成分，表明被试对非目标工作记忆的表征没有产生早期注意偏向。不过遗憾的是，目前尚未有研究能够完全重复 Carlisle 和 Woodman 的结果。虽然 Sawaki 和 Luck (2011)的研究中也发现与工作记忆表征相同的探测刺激只诱发了抑制相关 Pd 成分，但在该研究中，探测序列中刺激物的表征类型(颜色)仅是记忆序列的附加特征而非识别特征(刺激物的朝向)，只能解释与任务类型无关的工作记忆表征更容易被提前抑制，以避免注意资源的损耗。Sawaki 和 Luck (2013)通过 ERP 成分指标，发现在搜索序列呈现后的 150 ms 左右，非目标工作记忆匹配刺激首先诱发了注意捕获相关的 N2pc 成分，随后(400 ms 左右)出现了与抑制过程相关的差异正波(Pd 成分)。国内学者胡艳梅和张明(2016)考察了认知控制动机水平对基于记忆的注意捕获和抑制效应的影响，发现随着动机水平的提高，注意捕获的效应量(N2pc 波幅)逐渐变小、潜伏期更短；对应地，与抑制过程相关的 Pd 波幅逐渐变大。但是，无论认知控制动机水平如何变化，线索序列呈现后 200~300 ms 左右(信息加工早期阶段)非目标记忆匹配刺激总是会诱发注意捕获相关的 N2pc 成分。表明虽然对非目标工作记忆表征的注意抑制受到认知控制水平(如动机)的调节，但这种控制性调节无法完全消除基于工作记忆的注意捕获效应，记忆储存刺激仍然能够在加工初期自动捕获注意(类似结果也见: Gaspar & McDonald, 2014; 张豹等, 2016)。

综上，我们认为，在视觉搜索任务中，个体确实能够对非目标工作记忆表征形成“拒绝模板”，从而促进目标搜索。但通常是一个早期的注意偏

向，而后产生注意抑制的过程。那么，随之产生的一个重要的问题是，“拒绝模板”是如何发挥作用的？即，成功抑制保持在工作记忆中的内容需要什么条件？近期一些研究者也开始探讨哪些因素会影响非目标工作记忆表征的注意捕获和抑制效应，哪些情况会导致对非目标记忆表征注意抑制的失败，捕获发生。大量研究结果表明，研究范式的差异、任务难度、刺激材料特征以及认知调控能力等因素是影响对非目标工作记忆表征注意捕获和抑制的重要原因。

3 影响非目标工作记忆表征注意捕获和抑制的因素

3.1 范式差异

研究范式的不同是导致各项研究结果不同的重要因素。例如, Soto 等人(2005)在研究中采用双重刺激双任务范式(Binary-stimulusdual-task paradigm), 即要求被试在垂直或水平朝向的线条当中寻找唯一一个倾斜线条，线条外面被不同颜色圆环包围，发现注意能够被与记忆储存颜色相同的圆环自动吸引。与他们不同的是, Woodman 和 Luck (2007)在研究中使用的是独立刺激双任务范式(Unitary-stimulusdual-task paradigm)，即搜索序列由不同缺口朝向的兰道环(Landolt C)组成，目标刺激为某一特殊开口方向(朝上或者朝下)的兰道环，其余干扰刺激开口朝左或者朝右，而目标客体所在的兰道环颜色不可能与工作记忆储存颜色相同。结果发现，被试能够主动避免记忆匹配刺激的干扰。Dowd, Kiyonaga, Egner 和 Mitroff (2015)在采用探索性回归分析法分离出两种范式后，发现看似相同的两个范式可能各自代表了注意引导的不同方向：双重刺激范式可能更依赖个体的视觉工作记忆能力，而独立刺激范式能更好地评估注意敏感性相关特征。先前也有一些研究者指出，工作记忆能力可显著预测注意捕获效应(Soto et al., 2008; Anderson, Vogel, & Awh, 2013)。因此，在多重刺激序列任务中，两类不同形式的刺激(彩色圆环和搜索线条)在理论上可以被处理为两个单独的对象，导致高强度的工作记忆资源征税，注意抑制资源不足，产生注意捕获效应(Olivers, Peters, Houtkamp, & Roelfsema, 2011)。相反，独立刺激序列只有一种刺激形式，减少了对注意资源的占用。对应地，其他使用双重刺激双任务范式的研究结果，也支持非目标工作记忆表征的注意捕获效应(Kiyonaga, Egner, & Soto, 2012; Soto et al., 2008)，而采用独立刺激双任务范式的研究结果则表明个体能够对非目标工作记忆表征产生注意抑制(Han & Kim, 2009; Woodman & Luck, 2007; Arita et al., 2012)。

3.2 刺激材料特征

注意抑制模型(attention model based on inhibition)认为，个体对更显著的干扰物(more potent distractors)会产生更强的抑制作用(Yantis & Egeth, 1999)。Geng 和 DiQuattro (2010)考察了非目标工作记忆表征的知觉特征对视觉搜索任务的影响。结果发现，当搜索序列中刺激物的知觉显著性相同时，干扰刺激影响了成绩。但当干扰刺激的特征更凸显时，被试的反应时更快，准确率更高。眼动指标进一步证实，这种促进作用是通过对干扰物更快速的注意转移实现的。Geng (2014)在一篇相关综述中指出，干扰物的知觉特性会影响注意抑制的有效性：高凸显性(high salience)如更亮、突然出现、突出的颜色或形状是个体迅速拒绝干扰刺激的重要条件之一。另外，不同刺激属性类型的注意抑制效应也不同。研究发现，一些属性(如颜色)比另一些属性(如形状)的引导作用更强(Wolfe, 2007; 张豹，黄赛，候秋霞，2014)。对应地，Woodman 和 Luck (2007)观察到非目标记忆表征注意抑制效应的研究，采用的是颜色作为刺激材料。而 Peter, Goebel 和 Roelfsema (2009)以及 Downing 和 Dodds (2004)的研究，使用了形状复杂的非自然图形作为刺激材料，则没有观察到非目标工作记忆表征的注意抑制效应。Zhang 等(2010)将 Luck 等(2007)与 Peter 等(2009)两项研究所使用的材料互换，但不改变实验范式，恰好得到了与原实验相反的结果。另有一些研究从奖赏联结的角度来考察了材料特征对非目标工作记忆表征注意抑制的影响。Hickey, Chelazzi 和 Theeuwes(2010)发现，与高奖赏反馈联结的刺激特征会引发 P1、N2pc 相关波幅，表明奖赏联结能够在视觉加工的早期阶段增强刺激物的注意捕获效应。Gong 和 Li (2014)发现，奖赏联结能够增强对刺激物的知觉表征，提高工作记忆成绩。在该研究的基础上，Gong, Yang 和 Li (2016)进一步考察了奖赏联结对视觉搜索任务中干扰物注意抑制作用，结果显示，在工作记忆–视觉搜索双任务中，

如果储存在工作记忆中的分心刺激与高奖赏联结，被试搜索目标的反应时会显著快于低奖赏和控制两种条件，表明与高奖赏联结导致的工作记忆表征的增强能够被认知控制所利用，进而调控注意分配，优化行为绩效(Gong et al., 2016)。

综上，物理上具有突显性的刺激能易化注意的主动抑制效应，与价值(如奖励)联结的刺激因为增加了刺激的突显性从而也能够促进对非目标工作记忆表征的抑制过程。那么，具有物理突显性的干扰刺激对奖赏驱动的注意抑制效应有没有调节作用呢？Gong, Jia 和 Li (2017)考察了非目标记忆表征的知觉突显性和奖赏突显性的交互作用，发现对工作记忆表征的注意抑制受其物理属性和奖赏效应量的共同调节。当干扰刺激的知觉显著性高于目标时，高奖赏联结下的注意抑制作用最大；当目标刺激的知觉显著性大于干扰刺激时，高低奖赏两种水平下的搜索反应时差异不显著。

3.3 任务难度

对非目标工作记忆表征抑制的成功与否，其中一个重要因素是当前视觉搜索任务的难度。Han 和 Kim (2009)的研究，通过改变搜索目标与干扰刺激开口的相对大小操纵搜索难度，结果发现，容易的视觉搜索任务(目标和干扰刺激开口差异相对较大)，被试对非目标工作记忆表征产生注意捕获；视觉搜索任务变难，注意捕获效应消失，甚至在一些试次中观察到了注意抑制效应。另一些研究者则试图从搜索序列知觉负载大小来揭示任务难度对非目标记忆表征抑制的影响。在 Soto 等(2005)的研究中，被试的任务是在 4 个刺激客体中寻找一个目标客体。而 Carlisle 和 Woodman (2011)以及 Arita 等(2012)的研究中，视觉搜索任务难度相对较大，Arita 等(2012)的研究视觉搜索序列中有 12 个刺激，Carlisle 等(2011)的研究搜索序列更是多达 20 个。前者的研究发现非目标记忆表征自动捕获注意，而后两者则发现了被试对非目标记忆表征的注意抑制效应。Tan 等(2015)通过操纵搜索序列的知觉负载(高/低)，并结合脑电(ERP)指标，进一步考察了两种负载条件下工作记忆表征如何影响目标搜索。行为结果发现，在低知觉负载条件下，非目标记忆匹配刺激的出现会明显增加目标搜索反应时。而在高知觉负载条件下，非目标记忆匹配刺激并不会对搜索成绩造成影响。脑电观察到低知觉负载下，顶枕区的 N1 有更大的激活。顶枕区被认为是注意控制的重要区域，不仅能引导注意偏向记忆相关刺激(Mevorach, Hodsoll, Allen, Shalev, &Humphreys, 2010)，同时还能有效抑制注意远离突显的或者与工作记忆表征类似的非目标刺激(Soto, Mok, McRobbie et al., 2011; Soto, Rotshtein, & Kanai, 2014)。研究者认为，认知负载(工作记忆表征数量)影响了对非目标工作记忆表征的注意捕获和抑制效应，低知觉负载条件下，对非目标记忆表征的抑制难度更高，更容易产生注意捕获。Olivers (2009)的研究发现，当要求被试在记住搜索目标特征的同时额外识记一种颜色，没有产生对非目标工作记忆表征的注意偏向。但撤去其中一种任务后，注意会自动偏向记忆匹配刺激。他们在后续研究中，操纵了工作记忆项目个数(1/2/3/4)，发现只有记忆负载为 1 时，出现了明显的注意捕获效应(搜索反应时更慢)，其他三种条件下(2/3/4)，对搜索成绩没有影响(van Moorselaar, Theeuwes, & Olivers, 2014)。可见，随着工作记忆表征数量的增加，记忆匹配刺激的注意捕获效应会降低。

3.4 认知控制水平

个体通过认知调控，主动抑制非目标工作记忆表征的知觉优势，避免对当前任务产生干扰(Woodman & Luck, 2007)。但认知调控的有效性常受到一些额外因素的影响，如个体的动机水平、准备时间等。胡艳梅等(2013)在研究中，通过操纵非目标工作记忆表征在搜索任务中出现的概率(20%/ 50%/ 80%)，诱发被试不同程度的抑制动机水平。结果发现，随着非目标记忆表征匹配概率的增高(50%和 80%条件下)，被试目标搜索任务的成绩也得到了显著提高。并且，当仅改变指导语诱发不同程度的抑制动机水平，得到了与客观改变匹配刺激概率一致的结果。表明动机水平确实能在一定程度上提高个体的认知控制能力，增强抑制性认知控制。胡艳梅和张明(2016)进一步结合 ERP 技术，提供了神经层面上动机水平对注意抑制影响证据。他们发现，随着认知控制动机水平的提高(50%和 80%条件)，非目标记忆匹配刺激诱发的 N2pc 成分越来越小，潜伏期越来越短，且诱发了更大的抑制性差异正波(Pd)。表明随着认知控制动机水平的不断提高，产生了更大的抑制控制机制，自上而下调节作用的力度显著增强，促使注意更快地脱离工作记忆内容。Han 和 Kim

(2009)通过改变记忆序列和搜索序列的间隔时间(ISI)来调节认知控制介入的时间，发现当记忆序列和搜索序列的 ISI 较短时，认知控制尚未发挥作用，工作记忆表征会自动地捕获注意。而当间隔时间足够长时，保持在工作记忆中的内容就不会自动地捕获注意，甚至在一定程度上受到抑制。Hu 等人也发现，基于记忆的注意抑制过程需要一定的准备时间才能发挥作用(Hu, Xu, & Hitch, 2011)。但是，也有研究发现，对非目标工作记忆表征的注意抑制在很短的时间内(100 ms)就能形成(Arita et al., 2012)。

总的来说，由于对非目标工作记忆表征的注意抑制作用受到诸多因素的影响，目前的研究结果尚未形成明确的定论。较为一致的结论是，个体确实能够通过自上而下的认知控制对非目标工作记忆表征产生注意抑制，只是在信息加工的早期阶段，基于记忆的注意捕获效应往往难以完全消除，且认知控制也需一定的条件和时间才能逐渐发挥作用。

4　总结与展望

视觉搜索是研究选择性注意的重要范式，为探讨注意的选择性功能积累了丰富的研究成果。工作记忆作为一种服务于当前任务的信息储存与加工认知系统，在视觉搜索过程中扮演着关键角色。事先形成的目标记忆表征能够有效促进之后的目标搜索成绩。然而，如果记忆表征刺激与当前任务无关，它又会如何影响目标搜索任务的结果？对这一问题的回答，有助于阐明个体在选择性注意过程中，如何主动避免非目标工作记忆表征对目标任务的干扰，对于揭示人类信息加工的认知调控规律具有重要的科学意义。本文通过分析与综合已有的研究成果，试图从工作记忆表征匹配视觉搜索干扰物这个视角，探讨个体是如何调控注意分配，发挥主动抑制作用的。虽然越来越多的证据表明，个体确实能够对储存在工作记忆中的干扰刺激产生注意抑制，但其中的调节机制却十分复杂，各种因素互相交织，共同影响注意选择的结果。因此，非目标工作记忆表征对注意选择的影响是一个重要但仍需系统、深入研究的课题。有四个方面的问题值得特别关注。

首先，是否存在“拒绝模板”。近年来一些研究者陆续对“拒绝模板”提出了质疑。如，Beck 和 Hollingworth(2015)认为，虽然 Arita 等(2012)证实了“拒绝模板”的有效性，但在他们的研究中，记忆匹配客体与目标客体总是分别出现在视野两侧，很可能导致被试将干扰物特征线索(颜色)转变为更简单的空间线索(左或右)。Beck 等将搜索序列的线索客体和目标客体随机呈现到左右视野，结果只发现了正性线索效应(工作记忆表征匹配目标刺激条件)，没用发现负性线索效应(工作记忆表征匹配非目标刺激条件)。研究者据此认为，所谓“拒绝模板”，很可能间接地基于空间线索发挥作用，而非基于对特征线索的加工。Becker, Hemsteger 和 Peltier (2015)在研究中也发现，只有当搜索序列中的干扰刺激颜色唯一且空间位置固定(单侧空间视野呈现)，才能重复以往研究的结果(Woodman & Luck, 2007; Arita et al., 2012)。而当打乱刺激呈现空间位置或增加搜索序列干扰刺激颜色类型，就不能出现加工优势。于是他们认为，所谓“拒绝模板”实质上是一种对目标颜色和位置的预期产生的目标线索策略。如果是这样，对非目标记忆表征的注意抑制的依据究竟是什么呢，基于特征还是基于空间？亦或二者都是？仍有待后期研究进一步证实。

其次，奖赏在注意抑制任务的作用仍有待澄清。虽然一些研究者从奖赏联结提高刺激物显著性的角度，解释奖赏在抑制非目标工作记忆表征中的作用。但是另一些研究者也从动机的角度来解释奖赏联结对注意选择的影响(Pessoa & Engelmann, 2010; Chelazzi, Perlato, Santandrea, & Della Libera, 2013; 纪丽燕，陈宁轩，丁锦红，魏萍，2015)。例如, Dodd 和 Flowers (2012)发现，奖赏增强了与自上而下注意控制有关的脑区活动，同时也激活了动机相关脑区，如后顶叶皮层。动机突显性理论(Berridge & Robinson, 1998)指出，奖赏相关的中脑多巴胺系统增强了与奖赏联结刺激的知觉表征突显性，提高了个体选择该刺激的动机，进而影响注意选择过程。基于该理论，奖赏联结促进注意抑制是通过自上而下的目标驱动机制起作用的。此外，一些研究发现，奖赏联结并不总能易化非目标工作记忆表征的主动抑制过程。例如，Hickey 等(2010)发现，奖赏与目标联结时才会对结果产生影响，对干扰物的抑制则不起作用。因此他们认为，奖赏对注意选择的作用是分离的，能够促进目标的加工但不能抑制分心物的加工。

Wang 等(2015)则发现，高奖赏联结的干扰刺激更能够突破中央抑制区(center-surround inhibition)，无论距离目标远还是近，都出现了较大的干扰，降低了视觉搜索效应(Wang et al., 2015)。研究者把这类高奖赏联结的自动捕获命名为价值驱动的注意捕获(value-driven attentional capture)，即人们倾向于更快速定向环境中有价值的信息，从中获益。受价值驱动的影响，与高奖赏联结的刺激物能够自动捕获注意而不受任务类型、目标驱动和刺激物知觉突显性的影响(Anderson, Laurent, & Yantis, 2013; Mine & Saiki, 2015; Bucker & Theeuwes, 2017)，表明奖赏联结对注意的引导可能独立于自上而下或自下而上的注意调节，具有独立的加工机制。虽然关于奖赏影响注意选择的认知机制以及奖赏起作用的注意阶段的探讨已经有了一定的成果，但不同的研究者有不同的看法，奖赏究竟如何影响注意抑制目前还没有统一、清晰的定论，这仍是未来需要研究者深入研究的一个焦点。

第三，个体差异的影响。尽管 Beck 等(2015)没有发现整体上的负性线索效应，但在消除了个体差异的因素后，发现正性线索条件下反应时更快的被试，也倾向于在负性线索条件下有更快的反应。国内学者于斌、乐国安和刘惠军(2014)提出，工作记忆加工与个体自我调控关系密切，日常生活中持续的自我调控可能提高被试的工作记忆能力。因此，我们推测，对非目标记忆表征的注意抑制受个体自我调控水平的影响。日常生活中，自我调控能力强的个体，可能更容易避免各种与生活目标无关刺激的干扰(如抵制酒精、坚持锻炼、改变不良生活习惯等)。

最后，目前关于非目标工作记忆表征与视觉注意的研究，主要集中在基础性研究领域，实验任务和材料多以简单的几何图形为主，这自然导致该类研究所反映的社会意义十分有限，仅涉及了一些基本的认知过程。因此，未来研究应该在不断拓展非目标工作记忆表征如何影响视觉搜索领域研究的同时，结合实验目的，引入一些外部生态效度比较高的实验材料(比如面孔图片、生活场景图片等)，探索更为广阔的人类视觉加工系统的注意选择机制。

参考文献

胡艳梅，张明，徐展，李毕琴．(2013)．客体工作记忆对注意的导向作用：抑制动机的影响．*心理学报*, *45*(2), 127–138.

胡艳梅，张明．(2016)．基于记忆的注意捕获和注意抑制效应：ERP 证据．*心理学报*, *48*(1), 12–21.

纪丽燕，陈宁轩，丁锦红，魏萍．(2015)．奖赏预期调节局部注意干扰效应．*心理学报*, *47*(6), 721–733.

于斌，乐国安，刘惠军．(2014)．工作记忆能力与自我调控．*心理科学进展*, *22*(5), 772–781.

张豹，胡岑楼，黄赛．(2016)．认知控制在工作记忆表征引导注意中的作用：来自眼动的证据．*心理学报*, *48*(9), 1105–1118.

张豹，黄赛，候秋霞．(2014)．工作记忆表征捕获眼动中的颜色优先性．*心理学报*, *46*(1), 17–26.

张明，张阳．(2007)．工作记忆与选择性注意的交互关系．*心理科学进展*, *15*(1), 8–15.

Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2013). Reward predictions bias attentional selection. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*:262.

Anderson, D. E., Vogel, E. K., & Awh, E. (2013). A common discrete resource for visual working memory and visual search. *Psychological Science*, *24*(6), 929–938.

Arita, J. T., Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2012). Templates for rejection: configuring attention to ignore task-irrelevant features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *38*(3), 580–584.

Beck, V. M., & Hollingworth, A. (2015). Evidence for negative feature guidance in visual search is explained by spatial recoding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*(5), 1190–1196.

Becker, M. W., Hemsteger, S., & Peltier, C. (2015). No templates for rejection: A failure to configure attention to ignore task-irrelevant features. *Visual Cognition*, *23*(9-10), 1150–1167.

Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (1998). What is the role of dopamine in reward: hedonic impact, reward learning, or incentive salience?. *Brain Research Reviews*, *28*(3), 309–369.

Bucker, B., & Theeuwes, J. (2017). Pavlovian reward learning underlies value driven attentional capture. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *79*(2), 415–428.

Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011). When memory is not enough: Electrophysiological evidence for goal-dependent use of working memory representations in guiding visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(10), 2650–2664.

Chelazzi, L., Duncan, J., Miller, E. K., & Desimone, R. (1998). Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search. *Journal of Neurophysiology*, *80*(6), 2918–2940.

Chelazzi, L., Perlato, A., Santandrea, E., & Della Libera, C. (2013). Rewards teach visual selective attention. *Vision research*, *85*, 58–72.

Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*,

353(1373), 1245–1255.

Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual review of neuroscience, 18*(1), 193–222.

Dodd, M. D., & Flowers, J. (Eds.). (2012). The influence of attention, learning, and motivation on visual search. *Nebraska Symposium on Motivation, 59*(1-4).

Dowd, E. W., Kiyonaga, A., Egner, T., & Mitroff, S. R. (2015). Attentional guidance by working memory differs by paradigm: An individual-differences approach. *Attention, Perception, & Psychophysics, 77*(3), 704–712.

Downing, P. E. (2000). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychological Science, 11*(6), 467–473.

Downing, P., & Dodds, C. M. (2004). Competition in visual working memory for control of search. *Visual Cognition, 11*(6), 689–703.

Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2014). Suppression of salient objects prevents distraction in visual search. *Journal of neuroscience, 34*(16), 5658–5666.

Geng, J. J. (2014). Attentional mechanisms of distractor suppression. *Current Directions in Psychological Science, 23*(2), 147–153.

Geng, J. J., & DiQuattro, N. E. (2010). Attentional capture by a perceptually salient non-target facilitates target processing through inhibition and rapid rejection. *Journal of Vision, 10*(6), 5–5.

Gong, M. Y., & Li, S. (2014). Learned reward association improves visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(2), 841–856.

Gong, M. Y., Jia, K., & Li, S. (2017). Perceptual competition promotes suppression of reward salience in behavioral selection and neural representation. *Journal of Neuroscience, 37*(26), 6242–6252.

Gong, M. Y., Yang, F., & Li, S. (2016). Reward association facilitates distractor suppression in human visual search. *European Journal of Neuroscience, 43*(7), 942–953.

Han, S. W., & Kim, M. S. (2009). Do the contents of working memory capture attention? Yes, but cognitive control matters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(5), 1292–1302.

Hickey, C., Chelazzi, L., & Theeuwes, J. (2010). Reward changes salience in human vision via the anterior cingulate. *Journal of Neuroscience, 30*(33), 11096–11103.

Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(4), 604–613.

Hu, Y., Xu, Z., & Hitch, G. J. (2011). Strategic and automatic effects of visual working memory on attention in visual search. *Visual Cognition, 19*(6), 799–816.

Kiyonaga, A., Egner, T., & Soto, D. (2012). Cognitive control over working memory biases of selection. *Psychonomic Bulletin & Review, 19*(4), 639–646.

Kumar, S., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2009). Electrophysiological evidence for attentional guidance by the contents of working memory. *European Journal of Neuroscience, 30*(2), 307–317.

Mevorach, C., Hodsoll, J., Allen, H., Shalev, L., & Humphreys, G. (2010). Ignoring the elephant in the room: a neural circuit to downregulate salience. *Journal of Neuroscience, 30*(17), 6072–6079.

Mine, C., & Saiki, J. (2015). Task-irrelevant stimulus-reward association induces value-driven attentional capture. *Attention, Perception, & Psychophysics, 77*(6), 1896–1907.

Olivers, C. N. L. (2009). What drives memory-driven attentional capture? The effects of memory type, display type, and search type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(5), 1275–1291.

Olivers, C. N. L., & Humphreys, G. W. (2003). Visual marking inhibits singleton capture. *Cognitive Psychology, 47*(1), 1–42.

Olivers, C. N. L., Meijer, F., & Theeuwes, J. (2006). Feature-based memory-driven attentional capture: visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*(5), 1243–1265.

Olivers, C. N. L., Peters, J., Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2011). Different states in visual working memory: When it guides attention and when it does not. *Trends in Cognitive Sciences, 15*(7), 327–334.

Pessoa, L., & Engelmann, J. B. (2010). Embedding reward signals into perception and cognition. *Frontiers in neuroscience, 4*:17.

Peters, J. C., Goebel, R., & Roelfsema, P. R. (2009). Remembered but unused: the accessory items in working memory that do not guide attention. *Journal of Cognitive Neuroscience, 21*(6), 1081–1091.

Sawaki, R., Geng, J. J., & Luck, S. J. (2012). A common neural mechanism for preventing and terminating the allocation of attention. *Journal of Neuroscience, 32*(31), 10725–10736.

Sawaki, R., & Luck, S. J. (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: Electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Attention, Perception, & Psychophysics, 72*(6), 1455–1470.

Sawaki, R., & Luck, S. J. (2011). Active suppression of distractors that match the contents of visual working memory. *Visual Cognition, 19*(7), 956–972.

Sawaki, R., & Luck, S. J. (2013). Active suppression after involuntary capture of attention. *Psychonomic Bulletin & Review, 20*(2), 296–301.

Soto, D., Greene, C. M., Chaudhary, A., & Rotshtein, P. (2011). Competition in working memory reduces frontal guidance of visual selection. *Cerebral Cortex, 22*(5), 1159–1169.

Soto, D., Heinke, D., Humphreys, G. W., & Blanco, M. J.

(2005). Early, involuntary top-down guidance of attention from working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*(2), 248–261.

Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P., & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences, 12*(9), 342–348.

Soto, D., Llewelyn, D., & Silvanto, J. (2012). Distinct causal mechanisms of attentional guidance by working memory and repetition priming in early visual cortex. *Journal of Neuroscience, 32*(10), 3447–3452.

Soto, D., Mok, A. Y. F., McRobbie, D., Quest, R., Waldman, A., & Rotshtein, P. (2011). Biasing visual selection: functional neuroimaging of the interplay between spatial cueing and feature memory guidance. *Neuropsychologia, 49*(6), 1537–1543.

Soto, D., Rotshtein, P., & Kanai, R. (2014). Parietal structure and function explain human variation in working memory biases of visual attention. *Neuroimage, 89*, 289–296.

Tan, J. F., Zhao, Y. F., Wang, L. J, Tian, X., Cui, Y., Yang, Q., ... & Chen, A. (2015). The competitive influences of perceptual load and working memory guidance on selective attention. *PloS One, 10*(6), e0129533.9

Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception, & Psychophysics, 50*(2), 184–193.

van Moorselaar, D., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. L. (2014). In competition for the attentional template: Can multiple items within visual working memory guide attention? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(4), 1450–1464.

Wang, L. H., Yu, H. G., Hu, J., Theeuwes, J., Gong, X. L., Xiang, Y., ... & Zhou, X. L. (2015). Reward breaks through center - surround inhibition via anterior insula. *Human Brain Mapping, 36*(12), 5233–5251.

Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (1997). Visual marking: prioritizing selection for new objects by top-down attentional inhibition of old objects. *Psychological Review, 104*(1), 90–122.

Wolfe, J. M. (2007). Guided search 4.0. *Integrated Models of Cognitive Systems*, 99–119.

Woodman, G. F. (2010). A brief introduction to the use of event-related potentials in studies of perception and attention. *Attention, Perception, & Psychophysics, 72*(8), 2031–2046.

Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2007). Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 33*(2), 363–377.

Yantis, S. (2000). Goal-directed and stimulus-driven determinants of attentional control. *Attention and performance, 18*, 73–103.

Yantis, S., & Egeth, H. E. (1999). On the distinction between visual salience and stimulus-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 25*(3), 661–676.

Zhang, B., Zhang, J. X., Kong, L. Y., Huang, S., Yue, Z. Z., & Wang, S. (2010). Guidance of visual attention from working memory contents depends on stimulus attributes. *Neuroscience Letters, 486*(3), 202–206.

The role of working memory representation in visual search: The perspective of non-target template

LI Yangzhuo; YANG Xucheng; GAO Hong; GAO Xiangping

(*Department of Psychology, School of Education, Shanghai Normal University, Shanghai* 200234, *China*)

Abstract: The contents of visual working memory (VWM) have been repeatedly found to be linked with attention allocation during visual searching. While the target representation in working memory (target template) was found to affect memory-driven attentional capture in a top-down manner, non-target representation in working memory (non-target template) can also affect attentional selection. The present article reviews existing literature on the modulation of attentional selection by non-target template stored in visual working memory. It is concluded that non-target presentations can not only automatically bias attention to information that matches the non-target template, but also benefit visual search performance by strategically suppressing items that matches the non-target template. The suppression functions of non-target template were affected by several factors including experiment paradigm, task difficulty, characteristics of stimuli and level of cognitive control. Future research should be aimed towards further investigation of its properties and promote both basic and applied research.

Key words: selective attention; visual working memory; non-target template; attentional capture; attentional suppression